

Architecture des Réseaux (ARes) 1/5 : Introduction

Olivier Fourmaux
(olivier.fourmaux@sorbonne-universite.fr)

Version 8.0

ARes : plan du cours 1/5

- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - objectifs de l'U.E.
 - démarche pédagogique
 - moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - planning
 - évaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - composants du réseau
 - hiérarchie protocolaire
 - exemple avec TCP/IP

ARes : plan du cours 1/5

- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - objectifs de l'U.E.
 - démarche pédagogique
 - moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - planning
 - évaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - composants du réseau
 - hiérarchie protocolaire
 - exemple avec TCP/IP

Renforcer ses connaissances en réseau

Approfondir et compléter un cours d'**introduction aux réseaux**

- exemple : cours 3I014 ("Introduction aux Réseaux") de la Licence d'Informatique de S.U.
- prérequis techniques et théoriques (supposés acquis) :
 - vocabulaire spécifique
 - introduction au traitement du signal
 - mécanismes protocolaires de base
 - protocoles usuels (HDLC, IP, routage, UDP, TCP)
 - modèle en couches OSI

Maîtriser les technologies de base

Etudier la principale architecture de réseau actuelle ainsi que son environnement ➡ **TCP/IP** et **Internet**

- applications normalisées (Web, DNS, messagerie, multimédia...)
- mécanismes dynamiques (contrôle de la congestion...)
- adressage IPv4/v6 (multicast, DHCP, NAT, tunnels...)
- routage avancé (hiérarchie d'AS, OSPF, BGP...)
- support architectures (Ethernet, ADSL, FTTH...)

Contenu du cours

Approche *Top down* :

Partie 1/5	Introduction
Partie 2/5	Application : connexion distante, transfert de fichier... ... multimédia, DNS, SNMP.
Partie 3/5	Transport : services, exemples UDP et TCP... ... ctrl congestion, DCCP, SCTP, QUIC.
Partie 4/5	Réseau : IPv4/v6, multicast, translation... ... routage hiérarchique, OSPF et BGP.
Partie 5/5	Technologies support : Ethernet commuté... ... point-à-point, boucle locale.

Base pour les autres U.E. du parcours RES

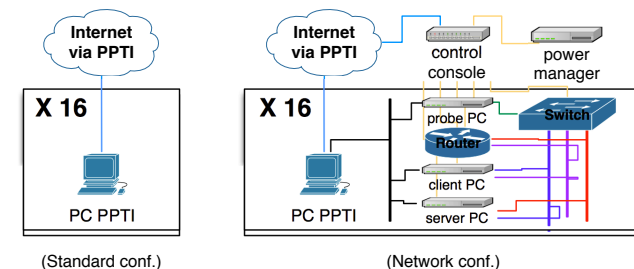
U.E. pré-requis pour les **cours de réseaux avancés**

- en M1-S2 pour les étudiants de RES ou pour ceux des autres parcours en U.E. libre :
 - mobilité, autonomie, sans-fil ➡ U.E. **MOB**
 - routage avancé ➡ U.E. **ROUT**
- en M2-S3 pour les étudiants de RES
 - ingénierie de trafic et qualité de service ➡ U.E. **ITQoS**
 - analyse de données des réseaux ➡ U.E. **NDA**
 - métrologie des réseaux ➡ U.E. **NETMET**
 - réseaux d'opérateurs et data centers ➡ U.E. **NEVA**
 - sécurité des réseaux ➡ U.E. **SECRES**
 - systèmes mobile embarqués intelligents ➡ U.E. **SMS** ...

Labs

Intégration des *Travaux Dirigés (TD)* et *Travaux sur Machine Encadré (TME)* dans une même séance de 4h : les **Labs**

- entrelacement des aspects théoriques et pratiques
- illustration par des exemples concrets sur une plateforme d'expérimentation avec du matériel réseau réel :



Contenu des séances de lab (sous réserves)

séance	contenu	support
1	Introduction à la plateforme des labs	n°1
2	Applications (1) : analyse Telnet, FTP et Web	n°2
3	Applications (2) : analyse SMTP, DNS, SNMP	n°3
4	Fin des labs précédents	
5	Transport (1) : analyse des mécanismes	n°4
6	Fin des labs précédents, <i>révisions</i>	
7	Transport (2) : contrôle de congestion (planetlab)	n°5
8	Réseau (1) : début IP/ICMP	n°6
9	Réseau (2) : fin IP/ICMP	n°6
10	Fin des labs précédents, <i>révisions</i>	

Organisation de l'enseignement

10 semaines avec...

- **Cours** : 10 × 2h
 - O. Fourmaux
- **Labs** : 10 × 4h
 - O. Fourmaux, T. Friedman, K. Thai, S. Tixeul

Quelques liens utiles...

- site temporel de l'U.E. (brèves, planning, supports et autres documents...) :
<http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/2019/ares>
- site du responsable de l'U.E. :
<https://www-npa.lip6.fr/~fourmaux/index-cours.html>

Plateforme d'expérimentation pour les Labs



Plateforme matérielle d'expérimentation
(utilisation de la salle M2-RES
14-15 :503).

Chaque binôme a accès à :

- un poste PPTI standard
- des équipements réseau dédiés pour réaliser les différentes configurations, captures et analyses :
 - 1 commutateur CISCO
 - 1 routeur CISCO
 - 3 VM sur un PC "rackables" 1U

Supports de cours/lab

- traces de trafic réseau (validation des acquis de l'U.E.)
 - réalisées sur la plateforme dans le cadre des labs
 - réalisées par les étudiants (sur la plateforme ou ailleurs...)
 - pré-enregistrées (en cas de panne ou pour travailler de l'extérieur) sur la page web :
<http://www-rp.lip6.fr/~fourmaux/Traces/labV6.html>
- autres supports disponibles sur le site de l'U.E. :
 - transparents de cours
 - sujets des labs (avec des contenus facultatifs)
 - annales
- bibliographie
 - titres disponibles à la bibliothèque Math/Info
<http://www.bupmc.upmc.fr/fr/labupmc/horaires.html>
➡ préférez les versions originales...

Bibliographie

- James F. Kurose, Keith W. Ross
 - Computer Networking : A Top-down Approach Featuring the Internet**, 7th edition (Pearson, 2016)
- Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall
 - Computer Networks**, 5th edition (Prentice Hall, 2011)
- Douglas Comer
 - Internetworking with TCP/IP Vol 1 : Principles, Protocols and Architectures**, 6th edition (Prentice Hall, 2013)
- Olivier Bonaventure
 - Computer Networking : Principles, Protocols and Practice**, <http://inl.info.ucl.ac.be/CNP3>

ARes : plan du cours 1/5

- Présentation de l'U.E. ARES
 - objectifs de l'U.E.
 - démarche pédagogique
 - moyens pédagogiques
- Questions administratives
 - planning
 - évaluation
- Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - composants du réseau
 - hiérarchie protocolaire
 - exemple avec TCP/IP

Planning provisoire pour 2018-2019

dates	cours	séances de lab	remarque
16-20/9	1	1	
23-27/9	2	2	
30/9-4/10	3	3	
7-11/10	4	4	
14-18/10	5	5	
21-25/10	6	6	
8/11	—	—	examen réparti N°1 (à confirmer)
18-22/11	7	7	
25-29/11	8	8	
2-6/12	9	9	
9-13/12	10	10	
13/1	—	—	examen réparti N°2 (à confirmer)
8/6	—	—	exam. rattrap. (à confirmer)

Attention : semaine des labs = semaine des cours

Emploi du temps

	8h30-10h30	10h45-12h45	13h45-15h45	16h00-18h00
Lundi		Cours (Fr) Amphi 15		
Mardi	Lab G1 (ITESCIA) 14-15:503		Lab G2 (AFTI) 14-15:503	
Mercredi	Lab G3 14-15:503			
Jeudi	Lab G4 14-15:503		Lab G5 14-15:503	
Vendredi		Cours (En) 24-25:105	Lab (En) 14-15:503	

Modalités d'examen

3 examens :

- Réparti n°1 (application, transport)
- Réparti n°2 (tout le programme de l'U.E.)
- Rattrapage (tout le programme de l'U.E.)

Lors de tous les examens de l'U.E. ARES :

- équipements électroniques interdits (mobile, calculatrices...)
- documents interdits excepté une feuille A4 manuscrite

Définition

manuscrite : entièrement écrite à la main (pas de photocopies)

Validation de l'U.E. ARES

Deux semaines après l'examen réparti n°2 (1ère session) ou l'examen de rattrapage (2ème session) :

- affichage des notes via DBUFR (après harmonisation)
- consultation des copies
- jurys
 - jury de l'U.E. (validation)
 - jury de parcours (compensation)
 - jury du Master (final)

Calcul de la note finale de l'U.E. ARES

1ère session : examens répartis (*Reparti1* et *Reparti2*)

$$N_{ARES_1} = 40\%N_{Reparti1} + 60\%N_{Reparti2}$$

si l'U.E. a été validée ($N_{ARES_1} \geq 10$), **rattrapage non autorisé**

2ème session : rattrapage (U.E. non validée à la 1ère session)

- U.E. non validée mais compensée : $N_{ARES_1} < 10$ conservée
 - 2ème session **ssi** inscription **explicite** au secrétariat de RES (demander à repasser l'examen ou refus de la compensation)
- U.E. non validée et non compensée : vous **devez** impérativement passer la 2ème session (sinon $N_{ARES_2} = 0$)

$$N_{ARES_2} = N_{Rattrapage}$$

ARes : plan du cours 1/5

- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - objectifs de l'U.E.
 - démarche pédagogique
 - moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - planning
 - évaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - composants du réseau
 - hiérarchie protocolaire
 - exemple avec TCP/IP

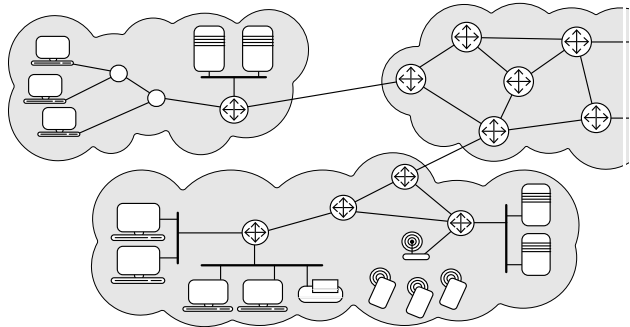
Environnement support pour la suite

Internet

- omniprésent
- hétérogène
- évolutif
- complexe...

⇒ difficile à cerner !

Voyons un exemple :



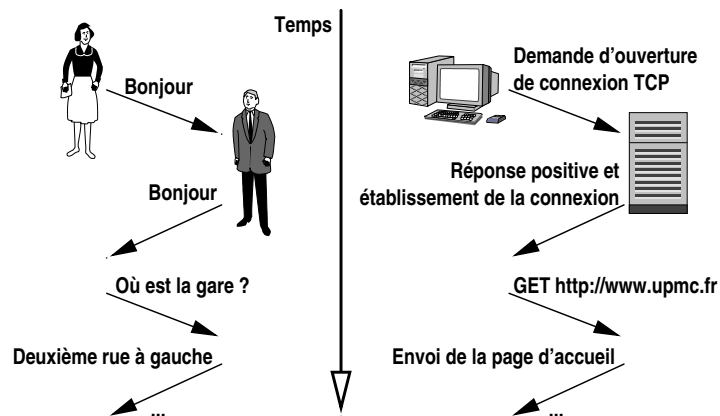
Composition de l'Internet

Quels sont les éléments de base de l'Internet ?

- liens de transmission de données (*communications links*)
- routeurs (retransmission des paquets)
- éléments terminaux (*hosts, end systems*) :
 - station Unix
 - PC traditionnel
 - téléphone mobile
 - Internet toaster (1990)...
 - logiciels de réseau
 - protocoles de communication...



Protocoles : analogie



Protocoles : définition

Définition

Protocole : Description des actions et échanges de messages entre deux (ou plus) entités de communication. Le format, le codage et le séquençement des messages utilisés y sont spécifiés.

- Remarque
 - **toute activité entre plusieurs entités de l'Internet utilise des protocoles**
 - nous étudierons principalement des protocoles dans la suite
- Exemples
 - requête web
 - conversion du nom littéral d'une machine (annuaire)
 - calcul de la route
 - contrôle de congestion ...

Services applicatifs

Les usagers utilisent des **applications distribuées** :

- *World Wide Web*
- courrier électronique
- partage de fichiers distribué
- jeux distribués
- flux audio et vidéo différés
- flux audio et vidéo temps réel ...

Qualité de service

Quel rapport avec la **Qualité de Service (QoS)**

- service au mieux (*Best Effort*)
 - pas de garantie, l'intérêt réside dans la connectivité !
 - combien de systèmes terminaux ?
 - 10×10^9 objets connectés la plupart des 3.0×10^9 de PC + $3,5 \times 10^9$ smartphones...
 - 4.5×10^9 utilisateurs actifs
 - trafic Internet >>> trafic téléphone
- des extensions sont à prévoir pour les applications multimédia...

► U.E. CONT / U.E. ITQoS (M2-S3)

Services du réseau

Les applications reposent sur **deux** types de services...

sans connexion

analogie avec le service postal

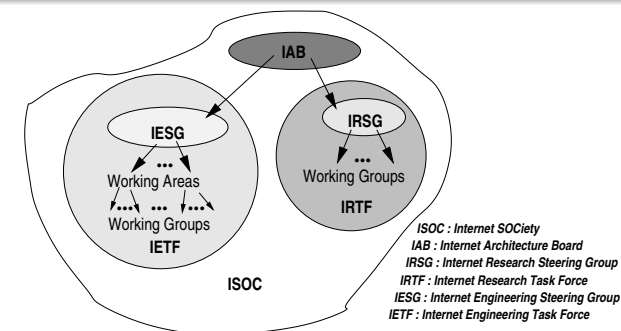
orienté connexion

analogie avec le service téléphonique

et peuvent en attendre différentes caractéristiques :

- fiabilité
- ordonnancement
- contrôle de flux
- contrôle de congestion ...

Standardisation de l'Internet

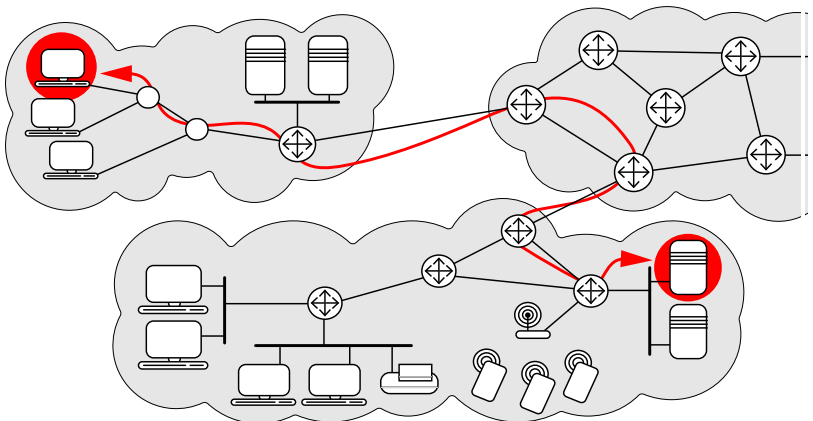


- groupes de travail IETF (*Internet Engineering Task Force*)
- plus de 8650 documents RFC (*Request For Comments*)
- **standards de facto** plutôt que **normes de jure**
 - IP, TCP, SMTP, SNMP, HTTP...
 - <http://www.rfc-editor.org/>

Quelques sites web

- IETF (*Internet Engineering Task Force*),
<http://www.ietf.org/>
- ACM SIGCOMM (*Association for Computing Machinery – Special Interest Group in Data Communication*),
<http://www.sigcomm.org/>
- IEEE Communications Society, <http://www.comsoc.org/>
- IEEE Computer Society, <http://www.computer.org/>

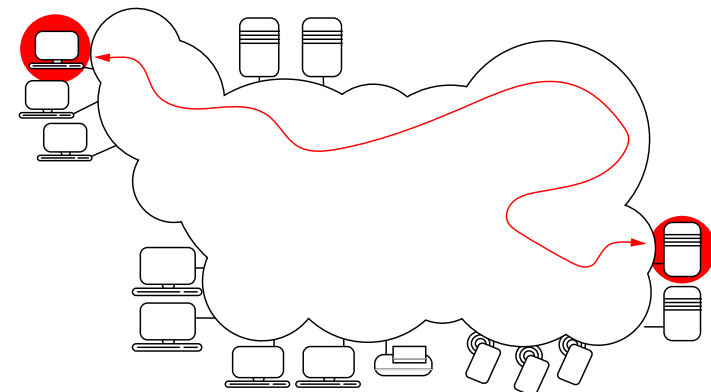
Bordure du réseau



ARes : plan du cours 1/5

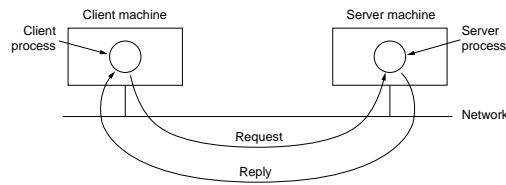
- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - objectifs de l'U.E.
 - démarche pédagogique
 - moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - planning
 - évaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - composants du réseau
 - hiérarchie protocolaire
 - exemple avec TCP/IP

Bordure du réseau (abstraction)



Applications distribuées

Modèle client/serveur



- requêtes de la machine client
- services fournis par un serveur toujours allumé
 - web
 - e-mail
 - annuaire...

Modèle pair-à-pair (*peer-to-peer*)

- utilisation minimale de serveurs
- approche symétrique...

Service de bout-en-bout

Types de service fourni par le réseau entre hôtes :

- service **orienté connexion**
 - fiabilité
 - ordonnancement
 - contrôle de flux
 - contrôle de congestion...
 - TCP
- service **sans connexion**
 - simple
 - base pour d'autre protocole
 - UDP

Protocoles applicatifs

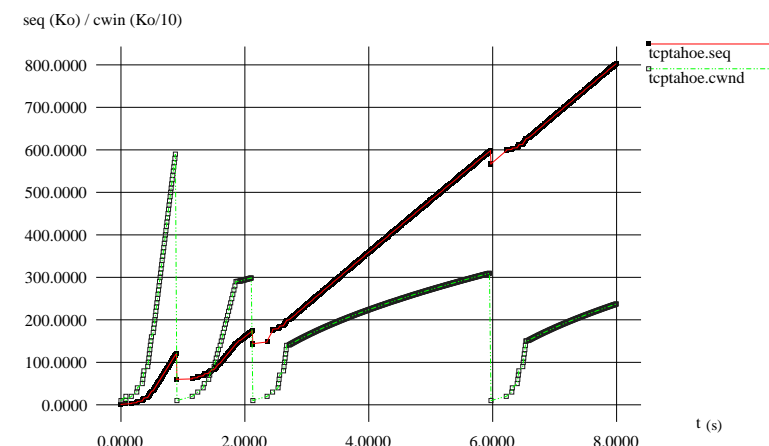
Environnement hétérogène ➡ standardisation des échanges

- web : HTTP, HTML
- e-mail : SMTP, MIME, POP, IMAP
- accès à distance : Telnet, NVT
- transfert de fichiers : FTP
- annuaire : DNS
- administration : SNMP, MIB

➡ Partie 2/5 : Applications

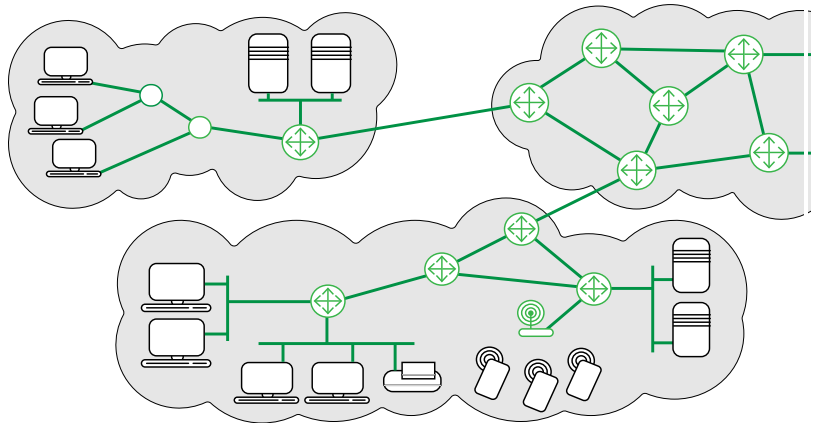
Impact du contrôle de bout-en-bout

Quelle est la forme du trafic généré par TCP ?



➡ Partie 3/5 : Transport

Intérieur du réseau



Liaisons de communication

Supports physiques

- médium avec guide d'ondes
 - paires torsadées (UTP5+, UTP6...)
 - câbles coaxiaux (bande de base, large bande...)
 - fibres optiques (multimode, monomode...)
- médium sans guide d'ondes
 - liaison satellite (geo-stationnaire, constellation...)
 - liaison terrestre (ondes radio, micro-ondes, infra-rouge, optique...)

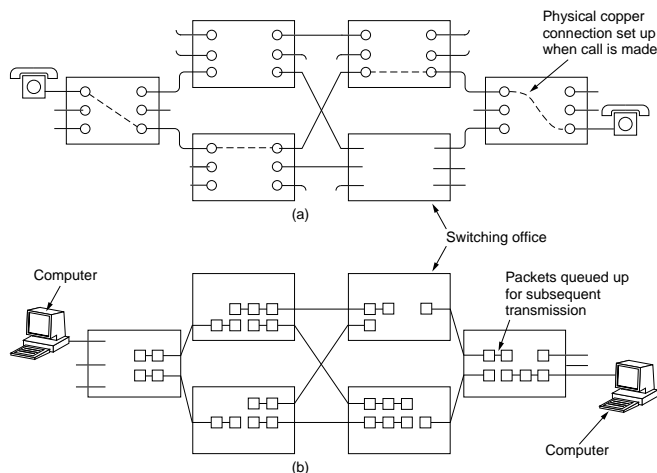
Technologies d'accès

- médium partagé
- découpage en trames

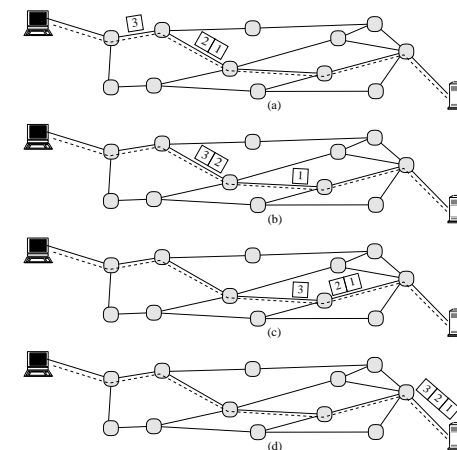
Eléments intermédiaires...

Relayer les données

Transmission par commutation de circuits ou relayage d'unités de données ?

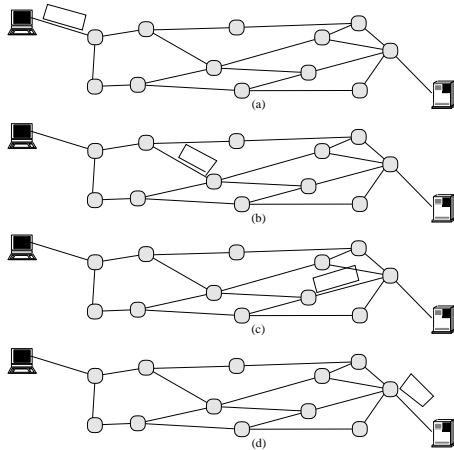


Transmission par circuit virtuel



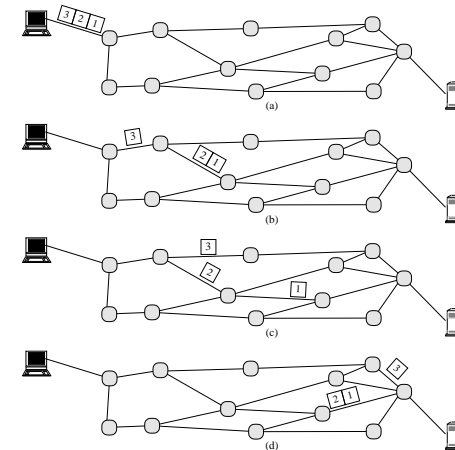
pictures from Stallings W. *High Speed Networks*

Transmission par messages



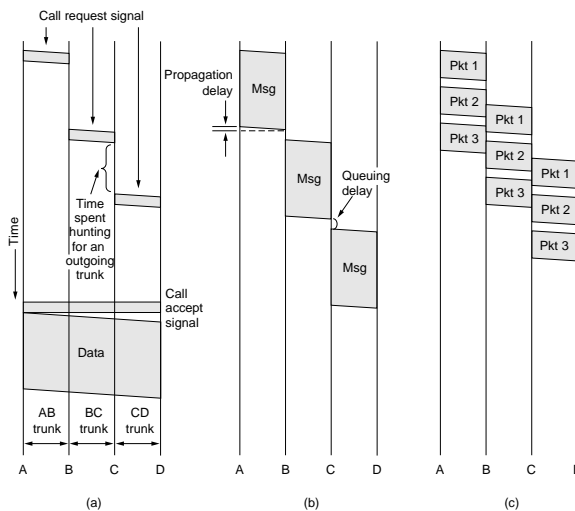
pictures from Stallings W. *High Speed Networks*

Transmission de paquets par datagramme



pictures from Stallings W. *High Speed Networks*

Comparaison des 3 types de transmissions



pictures from Tanenbaum A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Rappel sur les délais

Types de délais en commutation de paquets :

- traitement dans le nœud (*nodal processing delay*)
 - incompressible (D_n)
- file d'attente (*queuing delay*)
 - selon la congestion ($D_q = 0$ si pas de congestion)
- transmission (*transmission delay*)
 - dépend de la taille du paquet ($D_t = L/R$)
- propagation (*propagation delay*)
 - $v = 2.10^8 \text{ m/s}$ à 3.10^8 m/s ($D_p = d/v$)

Calcul du délai de bout-en-bout ?

Adressage Internet

Acheminement des paquets de la source vers les destinataires en effectuant des sauts entre les nœuds intermédiaires (**routeurs**)

Protocole IPv4/v6

- universel
- adressage virtuel
- **abstraction des technologies sous-jacentes**
 - encapsulation sur chaque technologie
 - conversion d'adresses

Nombreuses évolutions pour s'adapter au réseau actuel :

- adressage sans classes IPv4 (**CIDR**), multicast, **IPv6**
- translation d'adresses (**NAT**)
- autoconfiguration (**DHCP**)
- filtrage...

Routing dans l'Internet

Réseau datagramme

- routage de **chaque paquet**

Découpage hiérarchique du réseau (**AS**)

- routage interne : **OSPF**
- routage externe : **BGP**

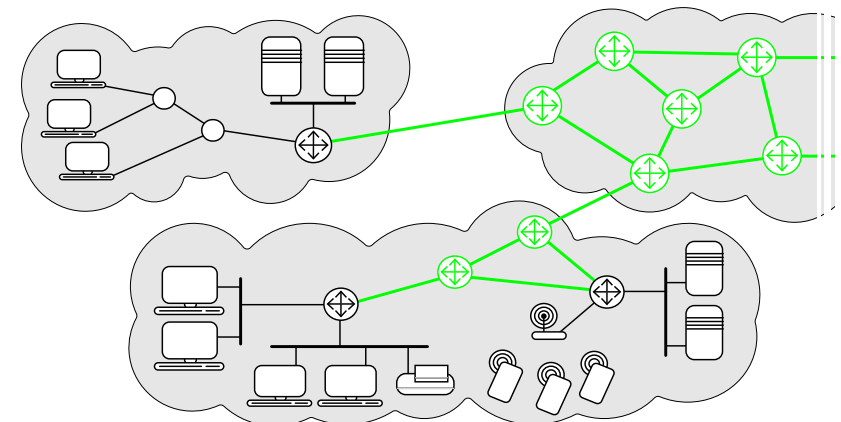
➡ **Partie 4/5 : Réseau**

Mécanismes de routage

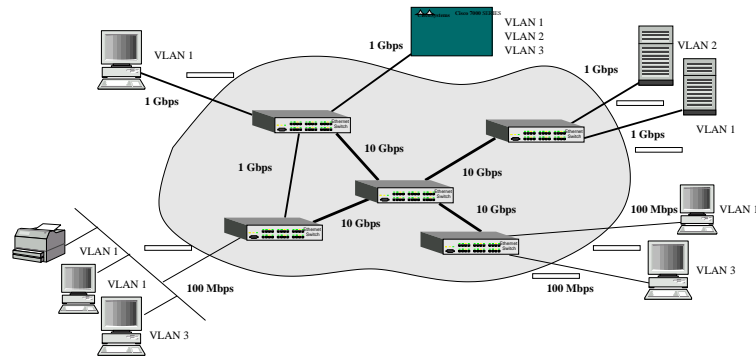
Quand et comment déterminer la **route** des données ?

- indication du chemin selon le type de réseau :
 - **initialement**
 - commutation de circuits
 - circuits virtuels
 - **pour chaque paquet**
 - datagramme
- calcul de l'information
 - **algorithmes** de routage
 - tables de routage
 - locales ou centralisées
 - statiques ou dynamiques
- échange de l'information
 - **protocoles** de routage...

Cœur du réseau



Technologie Ethernet

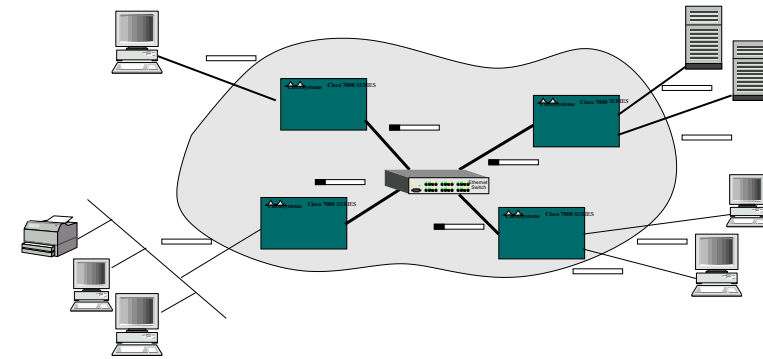


Evolution du LAN vers le WAN avec le **Fast Ethernet**, le **Gigabit Ethernet**, le **10Gigabit Ethernet** et le **100Gigabit Ethernet**.
Intégration de la **commutation** et structuration avec les **VLAN**...

➡ **Partie 5/5 (1) : Ethernet**



Technologie MPLS

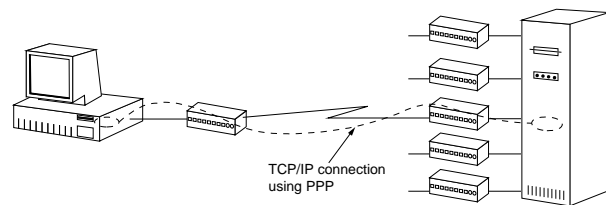


Intégration des mécanismes de **commutation** au niveau réseau
(ATM, MPLS...).

➡ **U.E. RTel (M1-S1)**



Technologies point-à-point



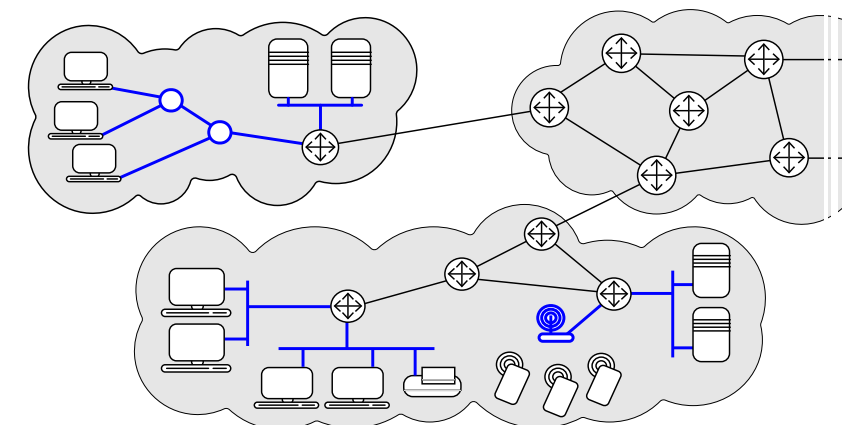
PPP seulement destiné aux anciennes liaisons séries ?

- PPP sur SONET : **POS**
- PPP sur Ethernet : **PPPoE**
- PPP sur ATM : **PPPoA**
- PPP sur IP : **L2TP ...**

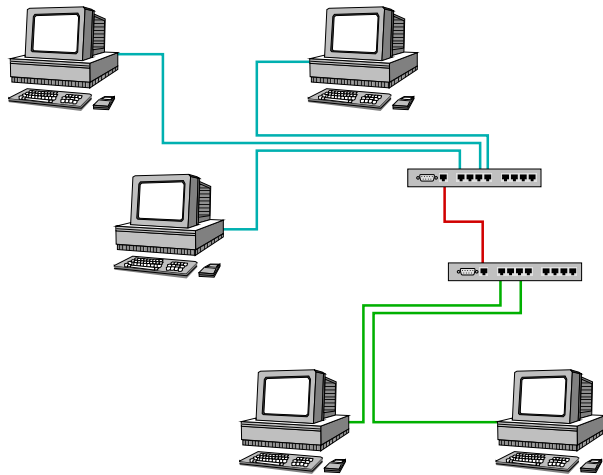
➡ **Partie 5/5 (2) : Point-à-point**



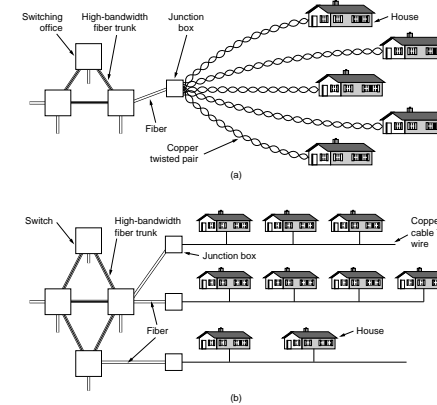
Réseaux d'accès



Réseaux d'entreprises



Accès résidentiel avec fils



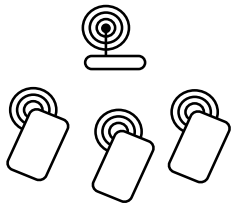
Résidentiels (RTC/ADSL, Câble, Fibre optique...)

➡ Partie 5/5 (3) : Boucle locale

Mobilité et accès sans fils

Selon la mobilité :

- micromobilité
 - Bluetooth/**WPAN** (IEEE 802.15)
- réseau local sans fil
 - Wifi/**WLAN** (IEEE 802.11)
- réseau métropolitain sans fil
 - BLR/**WMAN** (IEEE 802.16)
- téléphonie mobile
 - GSM, CDMA, GPRS, EDGE
 - CDMA 2000, UMTS, WCDMA, HSPA+
 - LTE, WiMAX, LTE Advanced
 - IMTS-2020, LTE-B...

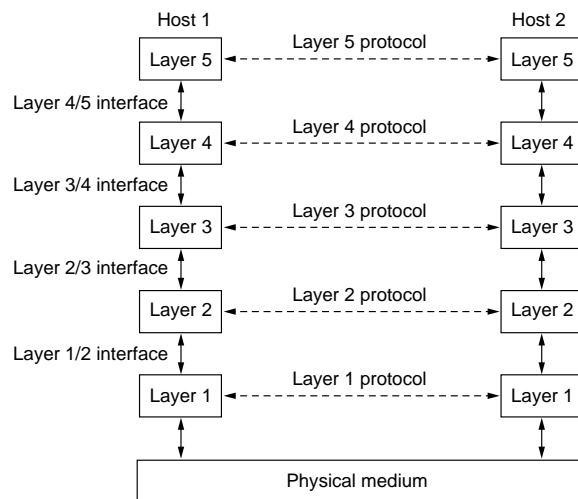


➡ U.E. MOB (M1-S2)

ARes : plan du cours 1/5

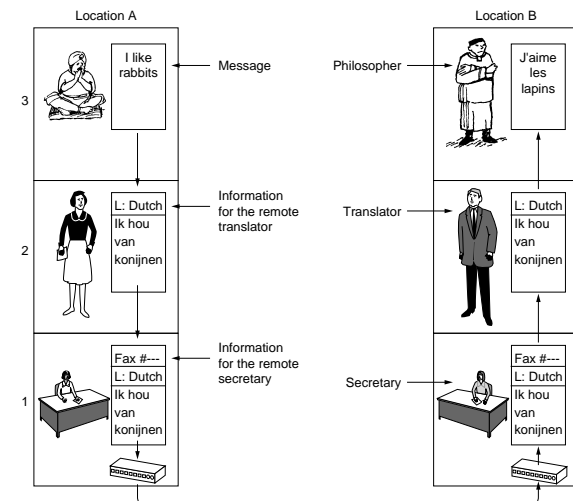
- 1 Présentation de l'U.E. ARES
 - objectifs de l'U.E.
 - démarche pédagogique
 - moyens pédagogiques
- 2 Questions administratives
 - planning
 - évaluation
- 3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.
 - composants du réseau
 - hiérarchie protocolaire
 - exemple avec TCP/IP

Protocoles, couches et interfaces



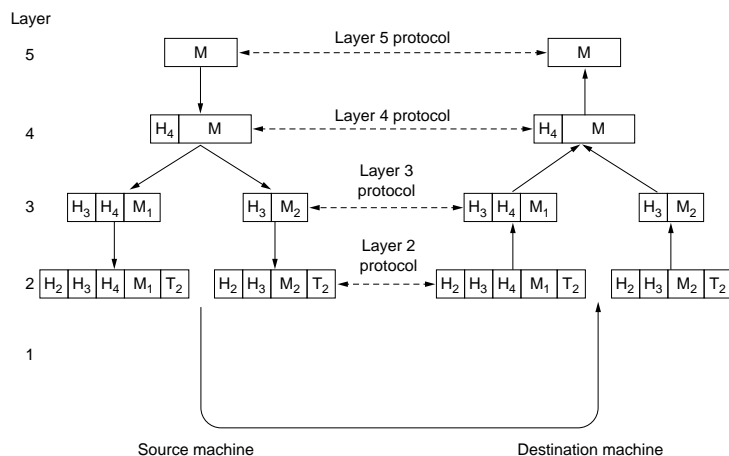
picture from Tanenbaum A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Analogie anthropologique



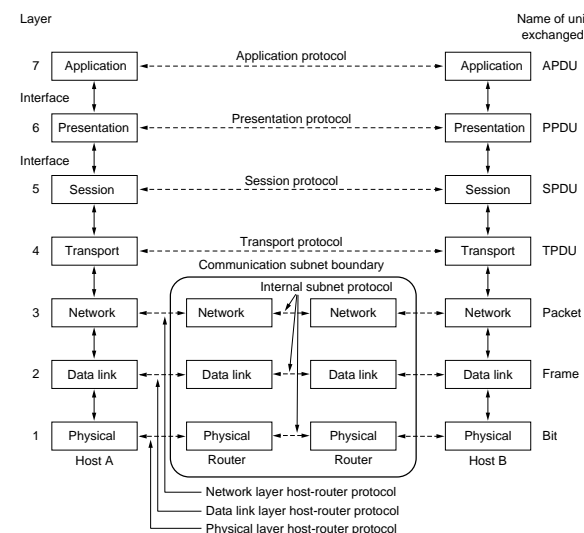
picture from Tanenbaum A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Encapsulations successives

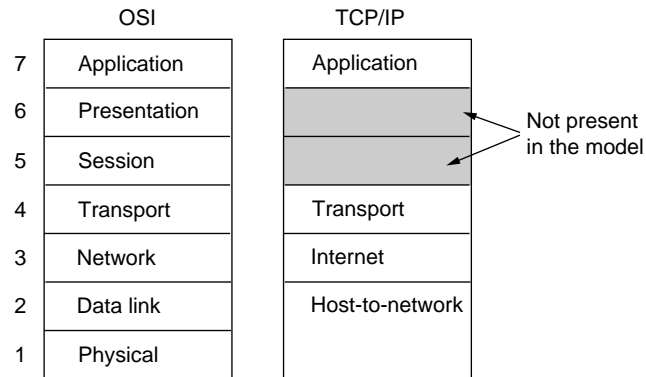


picture from Tanenbaum A. S. *Computer Networks 3rd edition*

Modèle de référence OSI (*Open Systems Intercon.* – 1983)

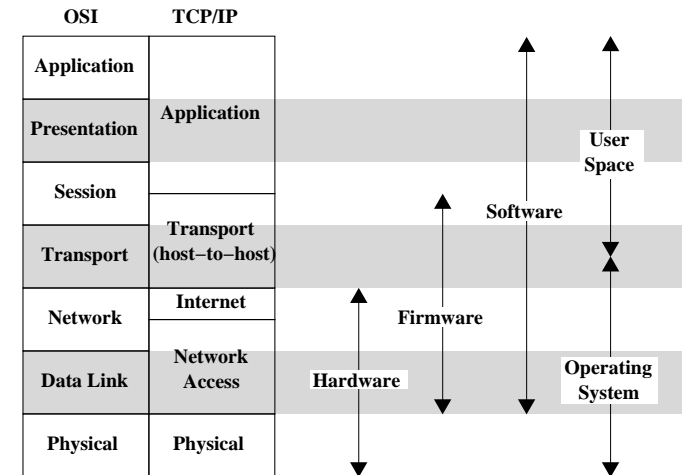


Modèle de référence TCP/IP (1974)



picture from Tanenbaum A. S. *Computer Networks 3rd edition*

TCP/IP : Comparaison



these pictures and to the end are from Stallings W. *High Speed Networks*

ARes : plan du cours 1/5

1 Présentation de l'U.E. ARES

- objectifs de l'U.E.
- démarche pédagogique
- moyens pédagogiques

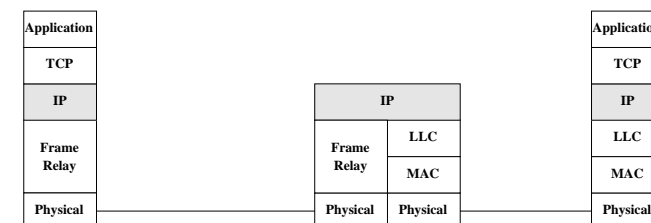
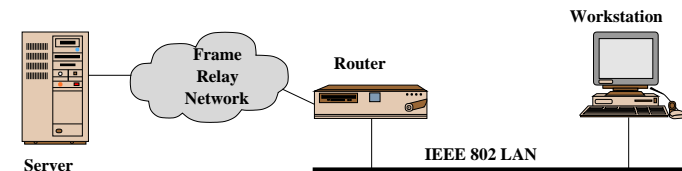
2 Questions administratives

- planning
- évaluation

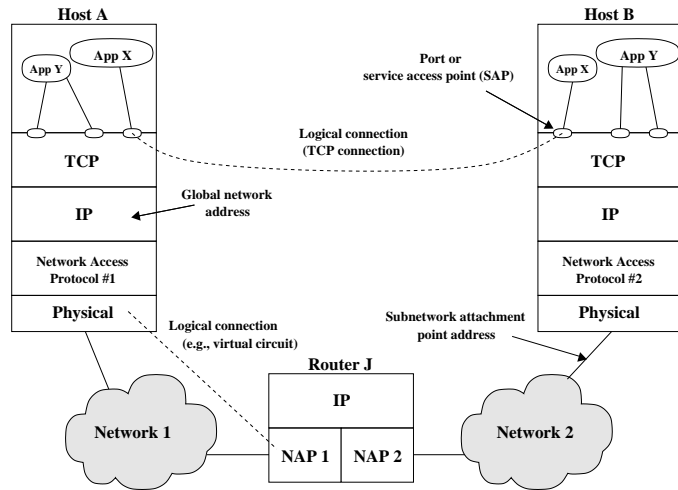
3 Rappels et introduction au contenu de l'U.E.

- composants du réseau
- hiérarchie protocolaire
- exemple avec TCP/IP

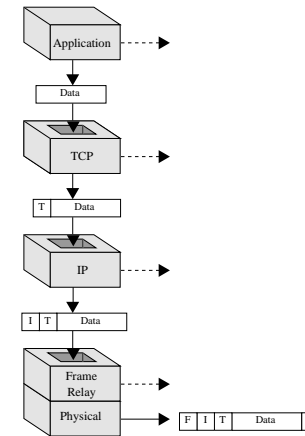
TCP/IP : Exemple



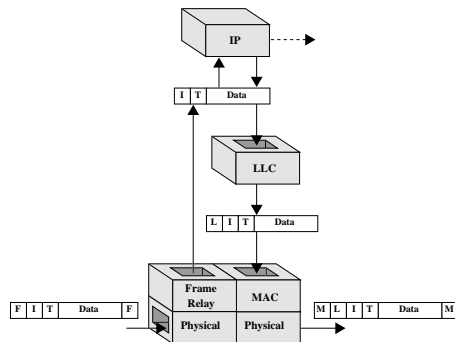
TCP/IP : Concepts



TCP/IP : Actions dans l'émetteur



TCP/IP : Actions dans un routeur



TCP/IP : Actions dans le récepteur

